

Grundsätzliches zum Teilsicherheitskonzept in der Geotechnik

Karl Josef Witt

1 Der Sicherheitsbegriff in der Geotechnik

1.1 Einführung

Auf dem Gebiet „Sicherheit geotechnischer Strukturen“ herrscht vor dem Hintergrund der europäischen Standardisierung derzeit eine große Unsicherheit. Zwei Fragenkomplexe stehen dabei im Vordergrund:

- Welche Sicherheitsanforderungen sind an Bauwerke zu stellen ?
- Mit welchen Methoden, Modellen und Verfahren ist die Sicherheit quantifizierbar?

Zum ersten Thema ist jedem Baumeister wie auch jedem Nutzer einer baulichen Anlage bewußt, daß es bei komplexen Systemen keine absolute Sicherheit gibt. Wir leben mit Risiken und wir haben im Alltag gelernt, damit umzugehen. Wir benutzen Verkehrsmittel mit unterschiedlichem Sicherheitsgrad und akzeptieren dabei das Risiko menschlichen oder technischen Versagens. Sicherheit gibt es nur bei wenigen einfachen Naturphänomenen, bei der Wirkungsrichtung der Schwerkraft etwa. Über die Geländebruchsicherheit einer horizontalen Fläche wird niemand ernsthaft diskutieren, ein unverbauter senkrecht abgeschachteter Kanalgraben ruft dagegen begründetes Unbehagen hervor. Dazwischen liegt der Graubereich in dem die oben genannten Punkte handeln: Wie sicher ist sicher und wie weisen wir das Niveau der Sicherheit unserer baulichen Anlagen nach ?

Trotz aller Bemühungen können wir allenfalls anstreben, das Versagensrisiko unserer Konstruktionen auf ein noch festzulegendes Maß zu begrenzen. Sicherheit ist somit als Beherrschung einer Gefährdung anzusehen. Sicherheit ist definitionsgemäß dann gegeben, wenn die betrachtete Gefährdung unter Kontrolle gehalten oder auf ein akzeptierbares Maß beschränkt wird. Eine absolute Sicherheit gibt es nicht.

Die Forderung nach sicheren Bauwerken ist trivial, wenn man bedenkt, daß die ursprüngliche Bestimmung eines Bauwerkes gerade im Schutz des Menschen (vor gefährlichen Umwelteinflüssen) besteht. In der Gesetzessammlung des babylonischen Königs Hammurabi wurde daher vor fast 4000 Jahren bereits festgelegt [16]:

§229

Wenn ein Baumeister für irgend jemand ein Haus baut und sein Werk nicht stabil genug ist und einstürzt und dabei der Hausbesitzer ums Leben kommt, muß der Baumeister sterben.

Die Gesetzgebung ist etwas humaner geworden, jedoch mußte mancher Bauingenieur erkennen, daß Murphy's Gesetz auch auf der Baustelle zutrifft:

If anythng can go wrong, it will!

In diesem Spannungsfeld hat der Bauingenieur zwei Instrumente entwickelt, den Sicherheitsfaktor und die Haftpflichtversicherung. Es ist natürlich töricht, zu glauben, ein Sicherheitsfaktor $\eta > 1$ bedeutet, daß das Bauwerk sicherer als sicher ist. Die Haftpflichtversicherung übernimmt allenfalls die finanziellen Folgen eines Fehlers, nicht die Verantwortung des Baumeisters. Die Sicherheit eines Bauwerks ist bis heute eng mit dem Baumeister verbunden, wenngleich auch die Regeln der Baukunst festgeschrieben oder allgemein anerkannt sind. Das Verständnis der Grundlagen und des Hintergrundes dieser allgemeinen Regeln der Baukunst und der Nachweisverfahren ist daher ein wichtiges Ausbildungsziel und Inhalt dieses Seminars.

1.2 Globale Sicherheitsfaktoren

Die Erkenntnisse der Physik, insbesondere der Festigkeitslehre und der Statik haben uns im Laufe der Zeit in die Lage versetzt, vom rein empirischen Bauen zum Planen und Berechnen von Bauwerken zu gelangen. Es wurde möglich, den Kraftfluß im Bauwerk zu verfolgen und zu berechnen. Aus der Festigkeitslehre hat sich zunächst das Prinzip der zulässigen Spannung entwickelt, das, wenn auch meist in abgewandelter Form, bis heute noch tragende Säule des klassischen Sicherheitsverständnisses ist. Das im Stahlbau entwickelte Prinzip beruht auf dem Vergleich einer zu erwartenden mit einer zulässigen Schnittgröße oder Spannung. Als zulässige Werte werden i. A. definierte, experimentell ermittelte Bauteilfestigkeiten herangezogen.

$$\text{vorh}\sigma \leq \text{zul}\sigma \qquad \eta = \frac{\text{zul}\sigma}{\text{vorh}\sigma} \qquad (1)$$

Bei geotechnischen Nachweisen hat sich anfänglich das Verhältnis günstiger zu ungünstiger Schnittgrößen als Sicherheitsdefinition durchgesetzt:

$$\eta = \frac{\text{günstige Schnittgrößen}}{\text{ungünstige Schnittgrößen}} \qquad (2)$$

Diese Betrachtungsweise läßt sich auch bei weiterentwickelten Bruchhypothesen oder Versagensmechanismen anwenden, z. B. beim Nachweis der Sicherheit gegen Geländebruch nach DIN 4084:

$$\eta = \frac{\sum M_{\text{haltend}}}{\sum M_{\text{treibend}}} \qquad (3)$$

Die in das mechanische Modell einwirkenden Parameter, z. B. Reibung und Kohäsion, werden nicht in Ihrem Einfluß gewichtet. Man spricht daher bei dieser Vorgehensweise vom **globalen Sicherheitsfaktor** η , der keine Berücksichtigung der Empfindlichkeit, der Modelleinwirkung oder der Unsicherheit der Bestimmung einzelner Parameter zuläßt. Dabei ist es bei der Betrachtung selbst einfacher Beispiele einleuchtend, daß z.B. Reibung und Kohäsion nicht nur einen ganz unterschiedlichen Einfluß auf den objektive Versagensmechanismus z. B. auf die Bruchfigur einer Böschung haben, sondern auch hinsichtlich des subjektiv empfundenen Risikos unterschiedlich zu behandeln sind. Weitere Einwände gegen das Prinzip der Globalsicherheit sind:

- Für unterschiedliche Nachweise (z.B. Gleiten, Kippen, Auftrieb, Hydraulischer Grundbruch, Böschungsstandsicherheit, Grundbruch) gibt es unterschiedliche, empirisch oder willkürlich festgelegte Sicherheitsfaktoren.
- Das Verfahren läßt keine konsequente Trennung von Einwirkung und Widerstand zu. Auf der Seite der Einwirkung kann insbesondere der Einfluß der rel. genau vorhersehbaren ständigen Lasten und der Einfluß der in weiten Bereichen schwankenden Verkehrslasten nicht getrennt berücksichtigt werden.
- Als Folge der Gleichbewertung aller Einflüsse bietet das Verfahren keine Transparenz bzgl. der tatsächlichen Sicherheitsreserven oder des Ausnutzungsgrades der Konstruktion oder Konstruktionsteile.
- Ebenso sind alle über die Belastungsannahmen hinausgehenden Einflußfaktoren wie Baugrundmodell, Bodenparameter, mechanisches Modell, Grundwasserschwankungen, Imperfektionen der Ausführung, nicht bewertet. Diese Unsicherheiten sind im empirisch festgelegten globalen Sicherheitsfaktor allenfalls diffus berücksichtigt, jedoch für den Anwender nicht nachvollziehbar.

Gerade die natürliche Streuung der Einflußgrößen, also die Unsicherheit der Modellparameter, kann durch ungünstige Überlagerung die rechnerische Sicherheit stark beeinflussen. Dies soll an einem einfachen Beispiel veranschaulicht werden, an der Kippsicherheit einer Stützmauer, die der Übersichtlichkeit halber etwas reslitätsfremd vereinfacht wurde.

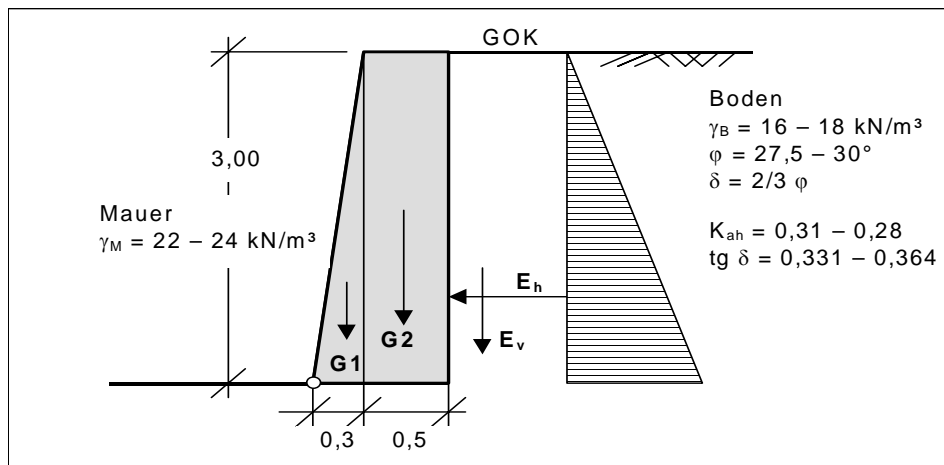


Bild1: System, Abmessungen und Kennwerte einer Stützkonstruktion

Berechnung der Kippsicherheit

a) Günstige Werte $\gamma_M = 24 \text{ kN/m}^3$ $\gamma_B = 16 \text{ kN/m}^3$ $\varphi = 30^\circ$

$$G_1 = 0,5 \cdot 0,3 \cdot 3,0 \cdot 24 = 10,8 \text{ kN}$$

$$G_2 = 0,5 \cdot 3,0 \cdot 24 = 36,0 \text{ kN}$$

$$E_h = 0,5 \cdot 16 \cdot 3^2 \cdot 0,28 = 20,2 \text{ kN}$$

$$E_v = 0,364 \cdot 20,16 = 7,34 \text{ kN}$$

$$\eta_a = \frac{M_s}{M_K} = \frac{10,8 \cdot 0,2 + 36 \cdot 0,55}{20,2 \cdot 1 - 7,34 \cdot 0,8} = \frac{21,96}{14,29} = 1,54$$

b) ungünstige Werte $\gamma_M = 22 \text{ kN/m}^3$ $\gamma_B = 18 \text{ kN/m}^3$ $\varphi = 27,5^\circ$

$$G_1 = 0,5 \cdot 0,3 \cdot 3,0 \cdot 22 = 9,90 \text{ kN}$$

$$G_2 = 0,5 \cdot 3,0 \cdot 22 = 33,0 \text{ kN}$$

$$E_h = 0,5 \cdot 18 \cdot 3^2 \cdot 0,31 = 25,1 \text{ kN}$$

$$E_v = 0,331 \cdot 25,1 = 8,31 \text{ kN}$$

$$\eta_b = \frac{M_s}{M_K} = \frac{9,9 \cdot 0,2 + 33 \cdot 0,55}{25,1 \cdot 1 - 8,31 \cdot 0,8} = \frac{20,13}{18,46} = 1,09$$

c) Mittelwerte $\gamma_M = 23 \text{ kN/m}^3$ $\gamma_B = 17 \text{ kN/m}^3$ $\varphi = 28,8^\circ$

$$\eta_c = \frac{M_s}{M_K} = \frac{10,35 \cdot 0,2 + 34,5 \cdot 0,55}{22,5 \cdot 1 - 7,83 \cdot 0,8} = \frac{21,05}{16,22} = 1,30$$

Selbst in diesem einfachen Nachweis handelt es sich um eine grobe Vereinfachung. In den Annahmen stecken noch eine Reihe weiterer Unbekannten, wie Größe und Angriffspunkt der Erddruckkräfte, oder Nachgiebigkeit des Auflagers mit Verlagerung des Drehpunktes zur Wandmitte hin. Das Beispiel läßt erkennen, welche Unsicherheiten im Sicherheitsfaktor stecken. Schon lange vor dem Wunsch der europäischen Harmonisierung wurden diese Schwächen für das Bauingenieurwesen erkannt und zunächst von M. Mayer [13], später speziell für den Erd- und Grundbau auch von Leussink [12] und Brinch Hansen [5] kritisiert. Es wurde eine Wichtung der Einfluß- und Widerstandsfaktoren in Form von Teilsicherheitsfaktoren gefordert.

2 Von der Sicherheit zur Versagenswahrscheinlichkeit

Die weitblickenden Anregungen von Mayer, Leussink, und Brinch Hansen wurden erst viel später, mit der praktischen Umsetzung der Erkenntnisse der Wahrscheinlichkeitstheorie im Bauingenieurwesen aufgegriffen. In den 70er Jahren machte sich allgemein das Bedürfnis nach exakteren Vorhersagen breit, man begann, statt von der Sicherheit von der Zuverlässigkeit oder von deren Komplement, von der Versagenswahrscheinlichkeit eines Bauwerks zu sprechen. Die grundlegenden Arbeiten wurden von Benjamin u. Cornell [3], in deutscher Sprache von Schueller [18] vorgelegt. Der Ausgangspunkt für vielseitige Aktivitäten auf nahezu allen Gebieten des Bauingenieurwesens bildete ein umfassendes Werk mit dem unglücklichen Namen GruSiBau [14], indem das probabilistische Sicherheitskonzept, das sog. β -Verfahren beschrieben und als Grundlage für die Begründung von Teilsicherheitswerten empfohlen wurde [4], [8].

Der allgemeine Sicherheitsnachweis muß die Forderung erfüllen

$$R \leq S \tag{4}$$

bzw.

$$Z = R - S \geq 0 \tag{5}$$

- R Widerstand oder Beanspruchbarkeit der Konstruktion während der Nutzungsdauer
- S Einwirkung oder Beanspruchung der Konstruktion während der Nutzungsdauer
- Z Zufallsvariable, die den Sicherheitsabstand beschreibt

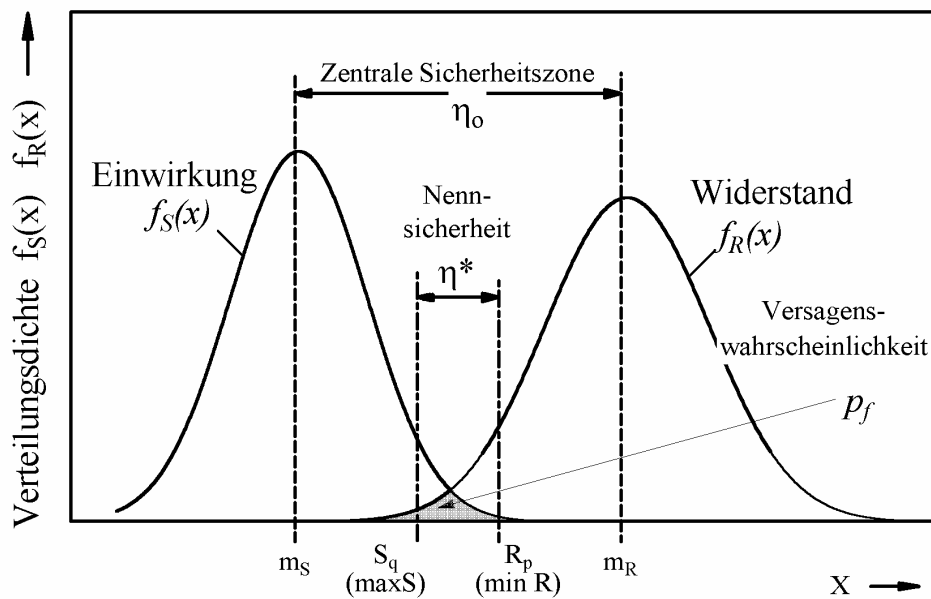


Bild 2: Verteilungsdichte von Einwirkung und Widerstand, Zusammenhang zwischen Versagenswahrscheinlichkeit p_f und Sicherheitsfaktor η

Für S und R können Lasten, Spannungen, Schnittgrößen oder Verformungen stehen. Der Grenzzustand, d. h. Versagen, tritt ein, wenn der Widerstand gleich oder kleiner wird, als die Einwirkung ($Z < 0$).

Das Neue an diesem Ansatz ist, daß es sich bei S und R nicht um feste Mittel- oder Extremwerte sondern um Zufallsvariable handelt und daß die Unsicherheiten von Beanspruchung und von Beanspruchbarkeit getrennt betrachtet werden. Bild 2 zeigt eine möglichen statistische Verteilung der Zufallsvariablen. Da Einwirkung und Widerstand streuende Größen sind, ergibt sich je nach Sicherheitsabstand ein Überschneidungsbereich, in dem der Grenzzustand nach Gl.(4) bzw. (5) verletzt ist. Die Wahrscheinlichkeit, mit der Kombinationen $R < S$ auftreten, nennt man Versagenswahrscheinlich p_f . Sie errechnet sich als Schnittfläche der beiden Kurven.

$$p_f = P(R < S) = \int_0^{\infty} \int_0^s f_S(s) \cdot f_R(r) dr \cdot ds \quad (6)$$

Die Zuverlässigkeit L ergibt sich als Komplementärereignis

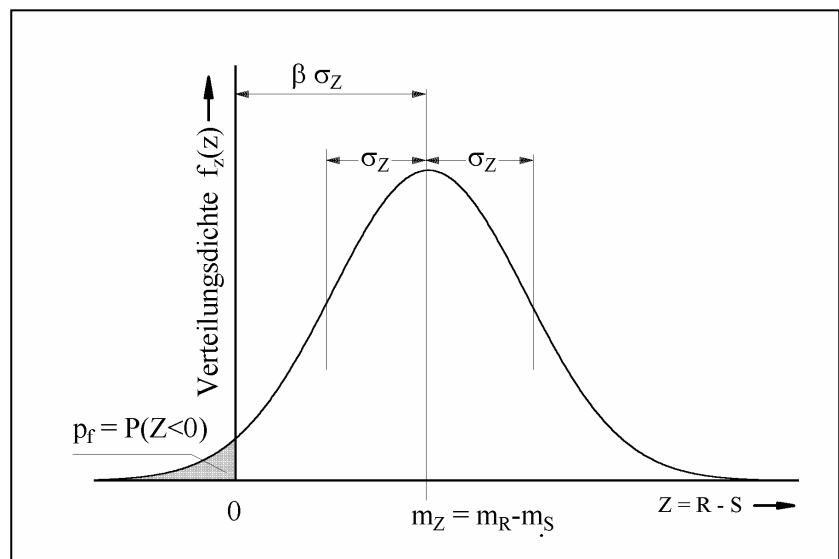
$$L = P(R > S) = 1 - p_f \quad (7)$$

Für normalverteilte Zufallsvariablen S und R läßt sich die Grenzzustandsgleichung (4) auch als statistische Verteilung darstellen (Bild 3). In dieser auf Cornell [] zurückgehenden Darstellung stellt der Abstand des Mittelwertes der Grenzzustandsvariablen m_Z von der Ordinate ($Z=0$) den sog. Sicherheitsabstand oder Sicherheitsindex β dar. Die Versagenswahrscheinlichkeit errechnet sich dann zu

$$p_f = \Phi(-\beta) \quad \text{mit } \Phi(u) = \text{Verteilungsfunktion der Normalverteilung} \quad (8)$$

In statistischer Hinsicht handelt es sich bei dem Sicherheitsindex β um den Reziprokwert des Variationskoeffizienten der normalverteilten Zufallsvariablen Z .

Bild 3: Verteilungsdichte der Grenzzustandsvariablen Z , Sicherheitszone und Definition des Sicherheitsindex β



Das β -Konzept wurde als Nachweisverfahren im Anhang der GruSiBau [14] empfohlen und ist auch in EC1 aufgeführt. Dabei wird ein Sicherheitsindex von $\beta=4,7$ angestrebt, was bei einer normalverteilten Grenzzustandsvariablen einer Versagenswahrscheinlichkeit von $p_f \sim 10^{-6}$ entspricht. Statistische gesehen bedeutet dieses Sicherheitsniveau ca. 1 Schadensfall je Million gleichartiger Bauwerke je Jahr.

Die Entwicklung der mathematischen Grundlagen der probabilistischen Sicherheitsbetrachtung hatte einen steilen Aufschwung. Die Hoffnung, mithilfe dieser Theorie und weiterer Anwendungen der Stochastik endlich bauteilübergreifend die Zuverlässigkeit unserer geplanten und bestehenden Bauwerke quantifizieren zu können, faszinierte eine Reihe von Wissenschaftlern, die sich bemühten, das Konzept auf die unterschiedlichsten Teilgebieten des Bauingenieurwesens anzuwenden [1], [7], [11], [15], [25]. Die Euphorie wurde im Zuge der Umsetzung bald gedämpft, da entweder die Deterministik, das mechanische Modell mathematisch nicht handhabbar oder garnicht verfügbar war, oder aber nicht auf eine befriedigende Datenmenge zur Beschreibung der Verteilungsfunktion der Basisvariablen zurückgegriffen werden konnte. In der Ernüchterungsphase zeigte sich, daß sich die Sicherheitsphilosophie mehr oder weniger auf Empirie und Intuition reduzieren wird.

In ENV 1991-1 (EC1) wird zwar noch das β -Konzept unverbindlich aufgeführt, jedoch wegen der erwähnten Schwierigkeiten bei der Umsetzung nicht zur Anwendung empfohlen. In einigen Teilgebieten, insbesondere bei der Festlegung charakteristischer Bauteilfestigkeiten, hat sich das Konzept bewährt. Ansonsten kann es nur für das Verständnis der Zusammenhänge der Einflußgrößen bei der Festlegung der Teilsicherheitsbeiwerten dienen, der Nachweis der Gebrauchsfähigkeit ist leider nicht gelungen.

3 Das Teilsicherheitskonzept

Beim Teilsicherheitskonzept werden ein Grenzzustände betrachtet, bei deren Überschreiten Teile des Bauwerks oder das Bauwerk als Ganzes die gestellten Anforderungen nicht mehr erfüllt. Man unterscheidet dabei zwei Gruppen von Grenzzuständen:

- *Grenzzustand der Tragfähigkeit* (ULS Ultimate Limit State) oder allgemein **GZ 1**
- *Grenzzustand der Gebrauchsfähigkeit* oder Gebrauchstauglichkeit (SLS Serviceability Limit State) oder allgemein **GZ 2**.

Unter *Grenzzustand der Tragfähigkeit* werden Zustände betrachtet, bei deren Überschreiten Menschen akut gefährdet sind. Hierzu zählen:

- Gleichgewichtsverlust oder Lageänderung des Tragwerks als Ganzes oder in Teilen
- Bruch von Konstruktionsteilen oder des stützenden Bodens durch übermäßige Verformung oder Baustoffermüdung
- Stabilitätsverlust des Tragwerks, ggf. einschließlich des Baugrundes, als Ganzes oder in Teilen

Der *Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit* ist in der Regel nicht mit der akuten Gefahr für Menschen verbunden. Jedoch ist bei dessen Überschreiten die Nutzungsfähigkeit des Bauwerks eingeschränkt, oder gar auszuschließen, ohne daß die Tragfähigkeit verloren geht. Kriterien können sowohl Spannungen oder Kräfte als auch Verformungen sein. Typische Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit sind:

- Verformungen, die die planmäßige Nutzung ausschließen
- Eigenschwingungen, die eine Nutzung ausschließen
- Beanspruchungen, die im Laufe der Zeit die Dauerhaftigkeit beeinflussen

Zum Nachweis der Grenzzustände werden die Einwirkung (Beanspruchung) wie auch die Widerstände (Beanspruchbarkeit) durch sog. *Charakteristische Werte* beschrieben.

Charakteristische Werte sind „vorsichtige“ Mittelwerte, die aus Berechnungen oder aus Materialuntersuchungen abgeleitet werden. Sie erhalten den Index „k“. Die Definition für charakteristische Bodenkennwerte ist der DIN 4020 „Geotechnische Untersuchungen für bautechnische Zwecke“ zu entnehmen. DIN 1054-100 gibt analog zur bisherigen DIN 1055 in Anhang A obere charakteristische Werte für Dichte und Scherfestigkeit von Böden an. Mit diesen Werten werden die Einwirkungen und die Widerstände des jeweiligen Grenzzustandes berechnet.

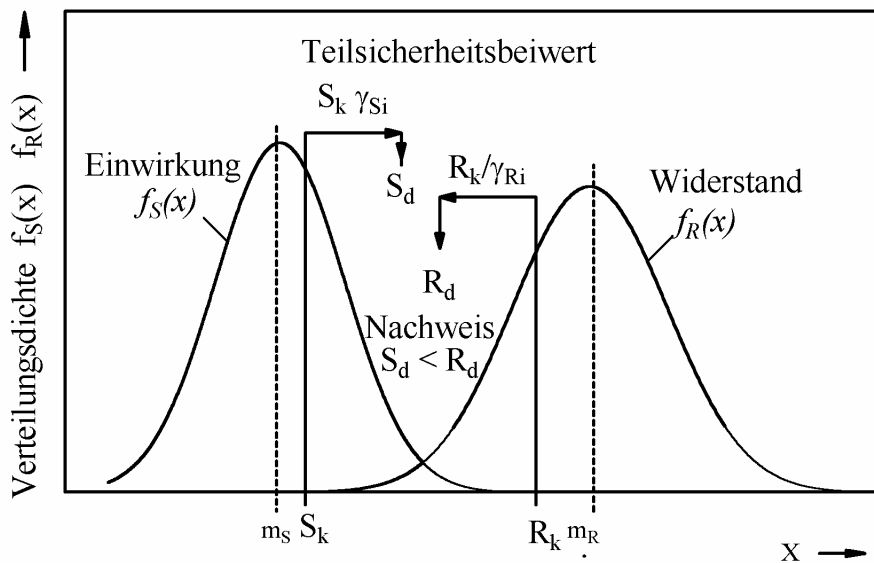


Bild 3: Übergang von Charakteristischen zu Bemessungswerten durch Multiplikation bzw. Division mit Teilsicherheitsbeiwerten

Die charakteristischen Werte der Einwirkung und des Widerstandes werden durch die *Teilsicherheitsbeiwerte* γ (partial safety factors) in *Bemessungswerte* (design values) überführt, die durch den Index d gekennzeichnet sind. Die Bemessungswerte sind damit die durch Faktoren erhöhte (Einwirkungen) oder abgeminderte (Widerstände) Größen, mit denen der Grenzzustand nachgewiesen wird. Sie werden mit dem Index „d“ gekennzeichnet. Die allgemeine Vorgehensweise ist in Tab.1 aufgelistet. Bild 3 veranschaulicht den wahrscheinlichkeitstheoretischen Hintergrund dieser Vorgehensweise.

Bei der Ermittlung der Beanspruchung und des Bemessungswertes der Einwirkung S_d werden direkte und indirekte Größen unterschieden. Zu den direkten Einwirkungen zählen alle Lasten aus Schwerkraft, Wind, Schnee, Verkehrslasten u. dgl.. Indirekte Einwirkungen sind Schnittgrößen und Verformungen aus Schwinden, Setzungen oder Temperatur.

Nach der zeitlichen Änderung werden die Einwirkungen unterschieden in:

- *ständige Einwirkungen* G_k (permanent actions) bzw. G_d
- *veränderliche Einwirkungen* Q_k (variable actions) bzw. Q_d
- *Außergewöhnliche Einwirkungen* A_k (accidental actions) bzw. A_d

Für ständige Einwirkungen, deren Wert in weiten Grenzen schwankt oder für solche, die im physikalischen Modell des Grenzzustandes sowohl günstig, als auch ungünstig wirken, werden obere (Index sup) und untere (Index inf) Schranken ermittelt:

ständig ungünstige Einwirkungen $G_{k,sup}$ und zugehöriger Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{G,sup}$
 ständig günstige Einwirkungen $G_{k,inf}$ und zugehöriger Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{G,inf}$

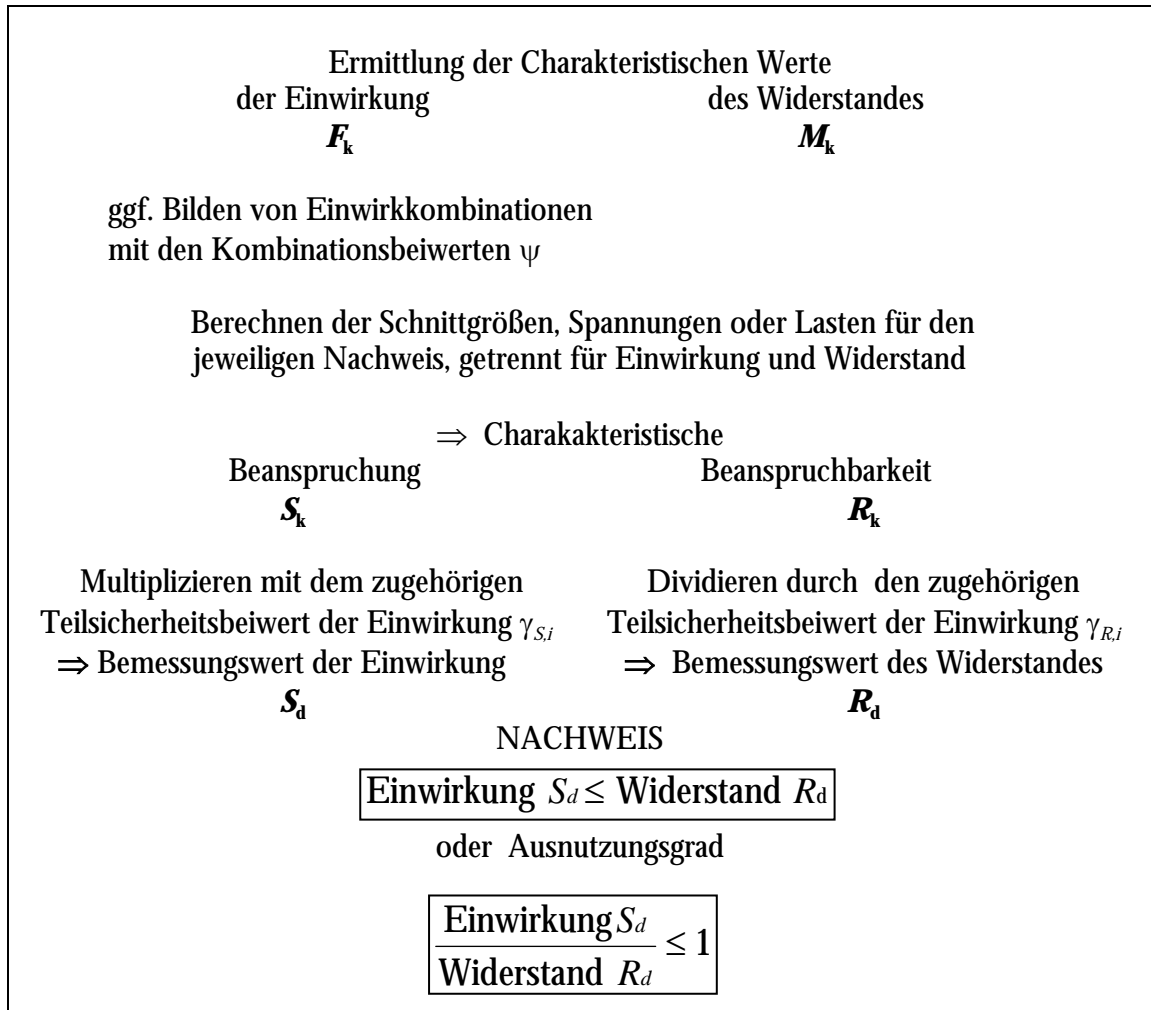


Tabelle1: Generelles Vorgehen beim Nachweis von Grenzzuständen mit Teilsicherheitsbeiwerten

Für Standsicherheitsnachweise ist es in der Regel ausreichend, von einer festen Einwirkung G_k auszugehen und einen oberen sowie einen unteren Bemessungswert zu bilden:

ungünstige Einwirkung $G_{d,sup} = G_k \gamma_{G,sup}$ (9)

günstig $G_{d,inf} = G_k \gamma_{G,inf}$ (10)

Sind jedoch obere und untere Grenzen der Lastannahmen bekannt, bilden sich die Bemessungswerte zu

ungünstige Einwirkung $G_{d,sup} = G_{k,sup} \gamma_{G,sup}$ (11)

günstig $G_{d,inf} = G_{k,inf} \gamma_{G,inf}$ (12)

Die zeitlich veränderliche Einwirkungen treten mit unterschiedlicher Intensität auf. Die Wahrscheinlichkeit, daß alle Ereignisse wie seltene Verkehrslasten, Schnee, Wind usw. gleichzeitig in vollem Umfang auftraten, ist gering. Deshalb werden alle veränderlichen Einflüsse bei der

Bemessungssituation berücksichtigt, die einzelnen Größen werden jedoch entsprechend ihrer Auftretswahrscheinlichkeit durch sog. *Kombinationsbeiwerte* ψ gewichtet.

Kombinationsbeiwert	$\psi_0 Q_k$
häufiger Wert	$\psi_1 Q_k$
praktisch ständiger Wert	$\psi_2 Q_k$

Die Größe und Handhabung der Kombinationsbeiwerte sind in EC 1 bzw. EC2 angegeben. Der Bemessungswert der Einwirkung errechnet sich damit nach Gl ()

$$S_d = \sum G_{k,j} \cdot \gamma_{G,j} + Q_{k,1} \cdot \gamma_{Q,1} + \sum_{i>1} \Psi_{Q,i} \cdot Q_{k,i} \cdot \gamma_{Q,i} \quad (13)$$

mit

$\sum G_{k,j} \gamma_{G,j}$ Summe der Bemessungswerte aller ständigen Einwirkung, gebildet aus den Produkten der Charakteristischen Werte mit den Teilsicherheitsbeiwerten

$Q_{k,1} \gamma_{Q,1}$ Bemessungswert der ungünstigen Einwirkung, Berechnung wie oben

$\sum \Psi_{Q,i} Q_{k,i} \gamma_{Q,i}$ Summe aller weiterer zu berücksichtigenden veränderlichen Einwirkungen, gewichtet mit den zugehörigen Kombinationsbeiwerten.

DIN 1054-100 greift die Wichtung der veränderlichen Einwirkung mit Kombinationsbeiwerten nicht auf und führt stattdessen die geläufigen Lastfälle LF1, LF2 und LF3 ein. Für die einzelnen Lastfälle gelten dann unterschiedliche Teilsicherheitsbeiwerte

Bei der Ermittlung der Beanspruchbarkeit (Widerstand) ist das dem Grenzzustand zugrundeliegende physikalische Modell für das System Bauwerk/Boden zu berücksichtigen. Generell bilden sich die Bemessungswerte

$$R_d = \sum \frac{R_{k,i}}{\gamma_{R,i}} \quad (14)$$

Soweit es sich bei den Widerständen um Scherfestigkeiten, Reibungsbeiwerte handelt, werden diese gem. Gl (15)- (17) von charakteristischen Werten mit den zugehörigen Teilsicherheitsbeiwerten in Bemessungswerte umgerechnet.

Reibungswinkel $\tan \varphi_d = \frac{\tan \varphi_k}{\gamma} \quad (15)$

Kohäsion $c_d = \frac{c_k}{\gamma} \quad (16)$

Wand-und Sohlreibungswinkel $\tan \delta_d = \frac{\tan \delta_k}{\gamma} \quad (17)$

Die europäische Normung ENV 1997-1 (EC7) und die nationale Umsetzung DIN V 1054-100 unterscheiden sich hier in der Behandlung der Widerstände noch grundlegend. Während DIN V 1054-100 konsequent alle Schnittgrößen mit Charakteristischen Widerständen ermittelt und so im physikalischen Modell nur effektiven Kräfte berücksichtigt, erlaubt EC7 auch die Ermittlung von Schnittkräften mit Bemessungsgrößen der Bodenkennwerten. Auf die dadurch bedingte Problematik, auf die Größe und auf die Bezeichnung der in der Geotechnik relevanten Teilsicherheitsbeiwerte wird in den folgenden Vorträgen und Beispielen eingegangen.

Die Europäische Normung wie auch die nationale Umsetzung sind auf dem Gebiet der Geotechnik noch nicht ausgereift, aber doch gebrauchsfähig und daher zur Erprobung freigegeben. An den Grundlagen der der Nachweisverfahren, am Prinzip des Nachweises von Grenzzuständen mittels Teilsicherheitsbeiwerten wird vernünftigerweise festgehalten, hier sind bei den anstehenden Überarbeitungen keine Änderungen zu erwarten. Bei der Anzahl und bei der Größe der Teilsicherheitsbeiwerte, wie auch bei Einzelheiten der geotechnischen Nachweisführung bei den unterschiedlichen Bemessungssituationen sind Anpassungen zu erwarten. Eine ausführliche Darstellung der Entstehung der neuen Standards, kritische Kommentare sowie erste Vorstellungen zu den notwendigen Änderungen und Ergänzungen sind den aktuellen Beiträgen von *Hanisch* [10] und von *Weißbach* [24] zu entnehmen.

4 Literatur

Zusätzlich zur im Text zitierten Literatur sind weitere zum Thema des Seminars wichtige Schriften sowie die zugehörigen Normen aufgeführt.

[1] *Alber, D.:*

Ein stochastisches Bodenmodell für geotechnische Aufgaben. Lehrstuhl und Prüfstelle für Grundbau, Bodenmechanik und Felsmechanik der TU München, Heft 8, 1987

[2] *Belabed, L.:*

Zuverlässigkeitsuntersuchung des Tragsystems „mehrfach verankerter Stützwände“ mit probabilistischen Methoden. Dissertation HAB Weimar 1996.

[3] *Benjamin, J.R. und Cornell, C.A.:*

Probability, Statistics, and Decision for Civil Engineers. Mc Graw-Hill Book Company, New York, 1970

[4] *Breitschaft, G. und Hanisch J.:*

Neues Sicherheitskonzept im Bauwesen aufgrund wahrscheinlichkeitstheoretischer Überlegungen – Folgerungen für den Grundbau unter Einbeziehung der Probenahme und der Versuchsauswertung. Vorträge der Baugrundtagung 1978 in Berlin, S. 659-694. Herausgegeben von der Deutschen Gesellschaft für Erd- und Grundbau e.V. (DGEG), Essen.

[5] *Brinch Hansen, J.:*

Definition und Größe des Sicherheitsgrades im Erd- und Grundbau. Der Bauingenieur 34 (1959), S. 87-89.

- [6] *Cornell, C.A.:*
First-Order Uncertainty Analysis with Applications to Structural Reliability. ASCE-EMD Special Conference, Purdue University, Lafayette, Indiana 1969
- [7] *Gässler, G.:*
Anwendung des statistischen Sicherheitskonzeptes auf verankerte Wände und vernagelte Wände. Baugrundtagung Braunschweig. DGEg 1982, S. 49-82.
- [8] *Gudehus, G.:*
Sicherheitsnachweise für Grundbauwerke. Geotechnik 10 (1987), H. 1, S. 4-34.
- [9] *Hanisch, J.:*
„Wegweiser“ auf dem Wege zu einem neuen Abschnitt in der Geschichte des Erd- und Grundbaus. Bautechnik 74 (1997), H. 5, S. 287-300 und Nachtrag. Bautechnik 74 (1997), H. 8, S. 561.
- [10] *Hanisch, J.:*
Ist der Eurocode 7 noch zu retten? Wird der EC 7 zur Hilfe oder zur Bremse bei der Beurteilung der Zuverlässigkeit neuer Bauarten? Bautechnik 75 (1998), H. 9, S. 630-636.
- [11] *Idel, K. H. (Koord.):*
Sicherheitsuntersuchungen auf probabilistischer Grundlage für Staudämme; 4 Bände. Deutsche Gesellschaft für Erd- und Grundbau; im Auftrag des Bundesministers für Forschung und Technologie 1988.
- [12] *Leussink, H.:*
Die Sicherheit im Grund- und Erdbau. Die Bautechnik 33 (1942), S. 297-302.
- [13] *Mayer, M.:*
Die Sicherheit der Bauwerke. Julius Springer Verlag, Berlin 1926.
- [14] *NABau-Arbeitsausschuß „Sicherheit im Bauwesen“*
Grundlagen zur Festlegung von Sicherheitsanforderungen für bauliche Anlagen (GruSiBau). Beuth-Verlag GmbH Berlin, Köln. (1981)
- [15] *Pottharst, R.:*
Zur Wahl eines einheitlichen Sicherheitskonzeptes für den konstruktiven Ingenieurbau. Mitteilungen des Instituts für Massivbau der TH Darmstadt, Heft 22, 1977
- [16] *Schneider, J. (1994):*
Sicherheit und Zuverlässigkeit im Bauwesen, Grundwissen für Ingenieure. B.G. Teubner Verlag Stuttgart.
- [17] *Schröder, K. und Drigert, K.-A. (1993):*
Neues Sicherheitskonzept in der europäischen Normung, Entwicklung der Berechnungsverfahren im Bauwesen. Eine Kurzdarstellung für die Baupraxis. Werner Verlag Düsseldorf.

[18] *Schueller, G. I.:*
Einführung in die Sicherheit und Zuverlässigkeit von Tragwerken. Verlag Willhelm Ernst & Sohn, Berlin/München 1981.

[19] *Smolczyk, U.:*
Hat die europäische Normung in der deutschen Geotechnik eine Chance?
Bautechnik 73 (1996), Heft 3, S. 134 - 146

[20] *Walz, B.:*
Forschungsvorhaben „Einarbeitung der GruSiBau in DIN 4017. Institut für Bautechnik.

[21] *Weißbach, A.:*
Die Umsetzung des probabilistischen Sicherheitskonzeptes in die neuen Grundbaunormen.
Vortrag vor der Vereinigung der Prüfengeure des Landes Baden-Württemberg am 25./26. Juni 1993 in Freudenstadt.

[22] *Weißbach, A.:*
Diskussionsbeitrag zur Einführung des probabilistischen Sicherheitskonzeptes im Erd- und Grundbau. Bautechnik 68 (1991), H. 3, S. 73-83.

[23] *Weißbach, A.:*
Beispielrechnungen zur Anwendung des Teilsicherheitskonzeptes auf Baugrubenwände.
Taschenbuch für den Tunnelbau 1998, S. 85-126. Herausgegeben von der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e.V. (DGGT). Verlag Glückauf GmbH. Essen, 1997.

[24] *Weißbach, A.:*
Umsetzung des Teilsicherheitskonzeptes im Erd- und Grundbau. Bautechnik 75 (1998), H. 9, S. 637-651.

[25] *Witt, K.J. (1993):*
Reliability study of granular filters. Proc. 1. Int. Conf. „Geo-Filters“, Brauns, Schuler, Heibaum (Hrsg.): Filters in Geotechnical and Hydraulic Engineering, Balkema 1993

[26] *von Wolffersdorff, P.A.*
Nachweise für eine Winkelstützwand nach dem neuen Sicherheitskonzept.
Bautechnik 73 (1996), Heft 3, S. 147 - 161.

Regelwerke

Bauen in Europa; Geotechnik; Eurocode 7-1 . DIN V ENV 1997-1; Normen. Herausgegeben vom DIN Deutsches Institut für Normung e.V. Beuth Verlag GmbH. Berlin, Wien, Zürich 1996.

ENV 1991-1: Eurocode 1, Part 1 Basis of design and actions structures.
Part 1: Basis of design (1994).

DIN V ENV 1991-1: Eurocode 1, Teil 1 Grundlagen der Tragwerksplanung und Einwirkungen auf Tragwerke. Teil 1: Grundlagen der Tragwerksplanung.

ENV 1997-1: Eurocode 7, Part 1 Geotechnical Design – General Rules 61th and final version, August 1994

DIN V ENV 1997-1: Eurocode 7, Teil 1 (Deutsche Fassung vom Juli 1995) Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik. Teil 1: Allgemeine Regeln.

Empfehlungen des Arbeitskreises „Baugruben“ auf der Grundlage des Teilsicherheitskonzeptes; EAB-100. Herausgegeben von der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e.V. (DGGT). Verlag Ernst & Sohn. Berlin, 1996.

Eurocode 7; Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik; Beispiele. Mit Beiträgen von Eitner, V., Glimm, M., Goldscheider, M., Horn, A., Kempfert, H.-G., Klobe, B., Riemer, K., Schulz H., Smolczyk, U., Stocker, M., Gemeinschaftstagung EC7 GGGT DIN Mannheim/Mainz 1996

Sonderdruck. Originalzitat und Quelle:

Witt, K.J., 1998: Grundsätzliches zum Teilsicherheitskonzept in der Geotechnik. Schriftenreihe Geotechnik Heft 1: Geotechnische Nachweise nach dem neuen Sicherheitskonzept, Bauhaus-Universität Weimar